

## **Válasz Dr. Ács Éva, az MTA Doktora bírálataira**

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Dr. Ács Éva professzor asszonynak disszertációm bírálatát, építő jellegű kritikai észrevételeit, elismerő szavait.

Az alábbiakban a félkövér szedéssel idézett megjegyzésekhez fűzött kiegészítések, majd a kérdésekre adott válaszok következnek.

### **A Doktori értekezés szerkesztésével, felépítésével kapcsolatos felvetés.**

Az algatoxin problémakört Magyarországon viszonylag speciális érzelmi és tudományos hangulat lengi körül. A hagyományosan a 20. sz. közepétől tapasztalt fokozottabb mértékű és gyakoriságú algavirágzások hazai víztereket sem kímélve nálunk is megjelentek. A viszonylag ritka, inkább kuriózumként emlegetett tömeges megjelenéseket a hazai kiemelt jelentőségű vízterekben is felváltották a nagy kiterjedésű algavirágzások esetei. A gyakran látványos és valós veszélyeket rejtő jelenségre szélsőséges híradások és néha elhamarkodott vélemények voltak a válaszok. Mindezek mellett a 70-es, 80-as években még nem álltak rendelkezésre azok a technikák, amelyek a 90-es évektől kezdődően elősegítették ezen jelenségeknek a helyes, illetve helyesnek tűnő értelmezését. A toxikus algavirágzások megfelelő elemzéséhez feltétlenül szükségesnek gondolom a hagyományos technikák és a tudományos megközelítéseken túl a modern, naprakész módszereket, melyek a környezetbiológia, molekuláris biológia és az analitikai kémia eszköztárából kerülnek ki. Ezen technikák befogadását és szükségességének megértését elengedhetetlennek gondolom. Számos félreértelmezés, téves következtetés született ebben a témakörben a hagyományos taxonómiai és hidroökológiai ismeretek negligálásából vagy éppen a szükséges modern technikák elutasításából a „tudományterület-idegen” mivoltukra való hivatkozással. Meggyőződésem, hogy a témakörben elért eredményeket kellő megfontoltsággal és a háttérismeretek kellő körüljárásával szükséges mind a tudományos közvélemény, mind a hétköznapi ember számára ismertetni. Ezért is tartottam fontosnak hogy a publikált tudományos anyagaim tükröfordítása helyett, ezek legfőbb eredményeit kiemelve helyezzem el a témakört érintő, nemzetközi szinten elfogadott ismeretanyagban és ezek mentén értelmezzem, ismertessem azokat.

### **Taxonómiával, taxonokkal kapcsolatos megjegyzések**

Bírálóm fontos és számomra is komoly dilemmát okozó kérdésre tapint rá az egyes kékalgafajok elnevezésével kapcsolatosan. 2013-ban jelent meg a Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd. 19/3: Cyanoprokaryota 3. Teil / 3rd part: Heterocytous Genera. A Komarek iskola kitűnő munkája a nitrogénfixáló heterocisztás cianobaktérium-fajok rendszerezését tárgyalja, figyelembe véve és ötvözve az elmúlt évek molekuláris biológiai, citológiai, morfológiai és kemitaxonómiai eredményeit is. Az új határozóban további nagyon jelentős változás, hogy az eddig jól ismert és a tudományos berkekben beágyazódott nevek megváltoztak több olyan faj esetében is, amelyekkel nemcsak a taxonómusok találkoznak

néhány ritka mintában, hanem a biológia számos területe vizsgálja őket, valamint több adatbázis jól ismert elemei, alkotói. Olyan jól ismert fajnevek változtak, mint az *Anabaena* genuszhoz tartozó *Anabaena flos-aquae* *Dolichospermum flos-aquae*-re, az *Aphanizomenon issatschenkoi* *Cuspidothrix issatschenkoi*-ra illetve a bírálóm által megnevezett *Aphanizomenon ovalisporum* is *Chrysosporum ovalisporum*-ra.

A kitűnő, legmodernebb eredményeket is felhasználó, a rokonsági kapcsolatokat nagyszerűen prezentáló munka nagy elismerésnek örvend a téma követőinek körében. Azonban ezen névváltoztatások komoly vitákat és ellenérzéseket is kiváltottak.

A jól ismert neveket a tudományos szakirodalom illetve a legismertebb adatbázisok szerzői, alkotói sem akarják elfelejteni. Jó példa erre, hogy a 2014-2015-ös évben az *Aphanizomenon ovalisporum*-al foglalkozó tudományos munkák esetében 137 ezen a néven illeti a fajt, míg 5 db publikáció használja a *Chrysosporum ovalisporum* nevet. Sajnos több adatbázisban is felbukkan mindkét név külön-külön, mintha két külön fajról lenne szó.

A jelenleg is folyamatosan fejlődő és mind szélesebb körben alkalmazott molekuláris technikáknak köszönhetően egyre nagyobb mennyiségű adattal rendelkezünk és ezek mentén mind gyakrabban kell átgondolnunk taxonómiai csoportok egymáshoz fűződő viszonyait. 2015. február 18-22 között Seville-ban tartott CYANOCOST találkozón is komoly dilemmaként fogalmazódott meg, hogy az általunk megírt és összeállított, a cianobakteriális toxinok és algavirágzások monitorozására ajánlásokat megfogalmazó kézikönyvben (Handbook of Cyanobacterial Monitoring and Cyanotoxin Analysis, Wiley) a cianobaktériumok esetében milyen nevezéktant használjunk, ami érthető és aktuális lesz 2016-ban is.

Az indok, hogy az értekezésemben az ismertebb nevet használtam, mégsem a fentebb említettek miatt volt, hanem azon tény miatt, hogy a tudományos nemzetközi publikációk, amelyben eredményeinket leközzöltük és amelyekre az értekezés is épül, értelemszerűen ezt a nevet (*Aphanizomenon*) használták. Mivel az értekezés témájának és metodikájának köszönhetően várható volt, hogy a doktori mű bírálói, olvasói nem minden esetben naprakész taxonómusok lesznek, ezért a fajok közötti (és a publikációk közötti) kavarodást szerettem volna elkerülni.

Bírálómmal mindenesetre teljesen egyetértek, hiszen amennyiben elfogadjuk, hogy a cianobaktériumok elnevezése esetében a Botanikai Kódot alkalmazzuk (ezzel kapcsolatban is több tudományos vita folyik napjainkban, hogy a Bakteriológiai illetve a Botanikai Kód egyes elemeit kellene érvényesíteni a cianobaktériumok (kéalgák) esetében) úgy az éppen utoljára hivatalosan publikált és kellő szakmai indokokkal alátámasztott elnevezést kell használnunk. Az új nevek feltüntetésére, megemlítésére mindenesetre lett volna lehetőségem a dolgozatban és egyúttal köszönöm a fajnevekkel kapcsolatos kiigazításokat, javításokat.

**A jelölt szépen bizonyította a *Prymnesium parvum* halpusztulást okozó mérgezését. A többi általa vizsgált toxint termelő fajnál tapasztalt-e hasonló pusztulást (netán más élőlény pusztulását)?**

A *P. parvum* halpusztulást okozó mérgezéseken túl, toxinhatásra utaló jel volt a *Cylindrospermopsis raciborskii* neurotoxikus algavirágzásnál tapasztalt emlősállatok pusztulása. Algavirágzások mentén gyakori a halak pusztulása, ami inkább az oldott oxigén

szint szélsőséges értékeinek köszönhető. Összességében, ahogy értekezésemben megjelenik, hazánkban a két említett akut hatású toxin megjelenésén kívül elsősorban a peptid típusú komponensek megjelenése a jellemző, amelynek hatása elhúzódó, időben jóval később jelentkezik, viszont akkumulációjuk további problémát okozhat a tápláléklánc elemeinél. Fontos kiemelni, hogy nem csak azon algavirágzás tekinthető toxikusnak, amivel párhuzamosan elhullás tapasztalható.

**Az értekezés 105. oldalán a *Microcystis aeruginosa* kapcsán írja a jelölt: "A Velencei-tó esetében tulajdonképpen szokványos jelenségről beszélhetünk, hiszen évről évre a tó egyes területein elszaporodik a faj, és ahogyan említettük, az 1990-es évek elején komoly problémát is okozott." Kérem, részletezze, hogy itt milyen komoly problémáról volt szó? Ezt miért kell szokványosnak tekintenünk? Bele kell ebbe nyugodnunk? Vagy lehet valamit tenni? Hisz egy fontos rekreációs célokat is betöltő tóról van szó, számos népszerű stranddal.**

1991-ben a Velencei-tavon fordult elő toxikus vízvirágzás, amikor is egy *Microcystis aeruginosa* törzs szaporodott el (Kós et al., 1995). A dolgozatomban „a komoly problémát” az takarja, hogy az embereket közvetlenül is érintő esetekről számoltak be a helyi médiumok. A fürdőzők bőrkiütésekkel, valamint szédüléssel, fejfájással, lázzal kerültek orvoshoz. Napjainkban a tó vízminősége javul, de ennek ellenére a *M. aeruginosa* nem tűnt el, jellemző fitoplankton alkotó és a nyári időszakokban változó mértékű tömeges megjelenéseket produkál. A *M. aeruginosa* algavirágzásaira jellemző, hogy a szél munkájának vagy az uralkodó áramlatoknak köszönhetően éppen a parti régiókban halmozódik fel jelentős mértékben, éppen a parti régiókban megtelepedő életközösségeket esetleg a fürdőzőket érintve.

Érdekességgéppen szeretném megemlíteni, hogy az 1991-es esemény után 20 évvel a Velencei-tóban jelenlévő *M. aeruginosa* toxintermelését megvizsgálva azt tapasztaltam hogy a 20 évvel ezelőtti törzshöz képest a jelenleg uralkodó genotípus hasonlóan erős toxintermelőnek bizonyult. Az LR, YR mellett egy demetilált LR forma is megjelent. Kijelenthető, hogy vegyes toxintermelő képességgel rendelkező populációval van dolgunk, amelyben uralkodóvá válnak (válhatnak) bizonyos genetika háttérrel, *mcy*-génklaszterrel rendelkező formák. Szembe kell nézni azzal a problémával is, hogy egyes szárazabb években a vízszint csökkenésével (és a tápanyag koncentráció emelkedésével, betöményedésével) a jelenlegi viszonyok között is előfordulhat algavirágzás a jövőben, hiszen a víztérben az algavirágzáshoz szüksége inokulum, oltóanyag rendelkezésre áll a fitoplanktonban.

Bírálom kérdésére, miszerint bele kell-e nyugodnunk, a válaszom az, hogy semmiképpen nem szabad és nem gondolom, hogy el kell fogadnunk a jelenséget. A toxintermelő algák esetében gyakran hangoztatott igény és néhány esetben követelmény a mérgező metabolit eliminálása, esetlegesen a toxintermelő szervezet tömeges elszaporodásának megakadályozása (ezzel kapcsolatosan előrehaladott K+F tevékenység folyik tanszékünkön).

Az algavirágzásokkal kapcsolatosan sajnos idejét múlt megállapítás, hogy ha szerves tápanyagokkal nem terheljük környezetünket, akkor az algák elszaporodása megszűnik. Fontos felhívni arra a figyelmet, hogy felszíni vizeink (illetve azok vízgyűjtőinek) jelentős hányadában a kellő mennyiségű foszfor illetve nitrogénformák már jelen vannak, biztosítva a

fotoautolitotróf anyagcserét folytató szervezetek elszaporodását. Értelemszerűen, gondolva a jövőre, ezek felhasználásának szabályozásával hosszabb távon jelentős eredményeket lehet elérni e téren, de ezek rövidtávon nem jelentenek megoldást. Ráadásul a mezőgazdasági termelés csúcsra járatásával a műtrágyák felhasználása nincs visszaszorulóban, amivel az algavirágzások kiterjedése, gyakorisága leginkább összefüggésbe hozható.

A már elszaporodott sejt-tömeg fizikai módszerekkel történő eltávolítása gyakran látványos eredményekhez vezethet, de csupán néhány kolóniában élő, aggregálódásra hajlamos cianobaktérium fajnál jöhet szóba a módszer. Ennek lényege, hogy a víz felszínén gázvakuólumaik segítségével lebegő sejtek tömegét „szerencsés esetben” az uralkodó szélirány part-menti területeken összegyűjti és a biomassa szűréssel, letermeléssel eltávolítható. Ilyen esetekben több mázsányi sejt-tömegtől is megszabadulhatunk. Sajnos a módszer csak néhány faj esetében és kivételes időjárási körülmények között kivitelezhető.

A felhalmozódott sejtek tömegének „vegyszerezése” általában rézsulfáttal, illetve egyéb kemikáliákkal még mindig használatos módszer, pedig gyakran az elpusztult sejtek tömege nagyobb kárt okoz, mint ha nem vetettünk volna be semmilyen eljárást.

Ígéretes eljárásnak, technológiai alkalmazásnak tűnik az a megközelítés, amely azon az elven alapszik, hogy a cianobaktériumoknak oxid gyökökkel szemben nagyobb az érzékenysége, mint számos eukarióta algának. (pl. Barroin és Feuillade 1986. Water Research 20 (5), 619-623). Az ismert víztér esetében a cianobakteriális tömeg elszaporodásának kezdetén megfelelő (előzetesen tesztelt!)  $H_2O_2$  koncentráció alkalmazásával az algaközösségben zöldalga, kovaalga fajok jutnak előnyhöz és a cianobakteriális algavirágzás megelőzhető. A módszer tesztelésére 2014 szeptemberében az Amszterdami Egyetemen (University of Amsterdam, Department of Aquatic Ecology and Ecotoxicology) egy nemzetközi csoport szerveződött, ahol európai vízterek algavirágzás-mintáit, vízmintáit teszteltük laboratóriumi és terepi körülmények között (részvétellemmel hazai mintákat is vizsgáltunk) az említett módszerrel.

A vízben már megtalálható toxin eliminálására agresszív oxidáló módszerek ismertek, de ezek ivóvíz-tisztítás során alkalmazhatóak. Felszíni vízterekben, élőlényközösségek jelenlétében ezek a módszerek értelemszerűen nem használhatóak.

Szintén tesztelés alatt van algavirágzások során kimutatható heterotróf szervezetekből (*Sphingomonas*, *Flavobacterium* törzsek) izolált enzimek alkalmazása a toxinok lebontására, de ezek egyenlőre laboratóriumi körülmények, illetve mikro- és mezokozmosz feltételek között tűnnek biztatónak.

**Az EU Víz Keret-irányelve a vizek jó ökológiai állapotát tekinti célállapotnak, ahol a toxikus vízvirágzásokat mindenképpen el kellene kerülni. Kutatásai alapján milyen környezeti feltételeken kellene változtatni ahhoz, hogy az ilyen toxikus vízvirágzásokat megelőzzük, s ha kialakulnak, megszüntessük?**

A Víz Keret-irányelv valóban kitűzi célul, hogy lehetőleg el kell kerülni az ilyen jellegű jelenségeket. A megfogalmazott igény ugyanakkor meglehetősen elnagyolt és nehezen teljesíthető. Általánosságban véve mérgező anyagcseretermék, toxin(oka)t termelő algák, cianobaktériumok által előidézett tömeges megjelenéseket értünk a jelenség alatt. Ugyanakkor mind a mérgezőképességet mind a jelenség kialakulásának körülményeit egyedi esetek

mentén tudjuk értelmezni. Mint ahogyan az MTA doktori értekezésben is saját, illetve irodalmi adatok mentén áttekintjük, más körülmények vezetnek és más feltételeknek kell teljesülnie egy mixotróf anyagcserét folytató *P. parvum* tömeges megjelenéséhez (tápanyagéhezés kiváltó ok lehet a tömeges elszaporodáshoz) míg egy nitrogénfixáló illetve nitrogénkötésre nem képes cianobaktérium tömeges elszaporodásához is más külső körülmények szükségesek.

Ha általánosságban próbálunk beszélni az algavirágzások legfőbb okozóiról, akkor leginkább a szervesetlen anyagterhelés (főként nitrogén, foszfor, vas formák), a melegebb (felmelegedő) hőmérséklet (klíma illetve termálvízterhelés) illetve az ember általi vízszabályozások, mesterséges vízterek kiépítését szokás leggyakrabban említeni, és azt gondolhatnánk, hogy ezen tényezők kizárásával megakadályozható az említett jelenség és elérhető a jó ökológiai állapot.

Számos ellenpéldát ismerünk. Toxikus algavirágzások oligotróf vizekben is (*Gloeotrichia echinulata*) előfordulnak, minden különösebb ismert külső terhelés hiányában is. Téli algavirágzásokra is számos példát ismerünk (az értekezés is bemutat egy saját eredményt, jégbefagyott *Microcystis* tömeg kapcsán) és nem kérdés ugyan, hogy a szabályozott, illetve mesterséges vízterekben nagyságrendekkel gyakoribb az ilyen jellegű algavirágzás, mégis számos példát ismerünk ember által nem vagy csak kevésbé bolygatott vízterekben is.

Amennyiben az EU Víz Keret-irányelve mentén javasoltak szerint el akarjuk kerülni a mérgező algavirágzásokat akkor a fent említett hatásokat, tevékenységeket kellene elkerülnünk adott víztér esetében. De hangsúlyozom általánosságban beszélni nem célszerű a jelenségről.

Végezetül szeretném megköszönni bírálóm észrevételeit, szakmailag nagyon aktuális kérdéseit, támogató véleményét és tisztelettel kérem válaszaim elfogadását.

Debrecen, 2015. február 22.



Dr. Vasas Gábor